Beitrag zur Kenntniss

des

Windens der Pflanzen.

Habilitationsschrift,

welche

mit Genehmigung der philosophischen Fakultät zu Marburg

zur

Erlangung der Venia docendi

am 13. Februar 1884

öffentlich vertheidigt hat

Dr. F. G. Kohl.

Marburg.

1884.

Beitrag zur Kenntniss

des

Windens der Pflanzen.

Beitrag zur Kenntniss

des

Windens der Pflanzen.

Von

Dr. phil. **F. G. Kohl.**

(Abgedruckt in Pringsheim's Jahrbüchern für wissenschaftliche Botanik.
Band XV. Heft 2.)

Berlin.

Verlag von Gebrüder Borntraeger.

1884.

Beitrag zur Kenntniss

der

Windens der Pflanzen.

Herrn Professor Dr. **A. de Bary**

widmet diese Zeilen

in dankbarer Ergebenheit

der Verfasser.

Beitrag zur Kenntniss des Windens der Pflanzen.

Hierzu Tafel XVI.

Die Assimilationsflächen in eine möglichst günstige Lage zum auffallenden Lichte zu bringen und die Fortpflanzungseinrichtungen so gut, als es eben geht, den zur Pollenbeförderung nothwendigen Faktoren, Insekten und Luftströmungen, zugänglich zu machen, das ist ein Bestreben, welches jeder Pflanze inne wohnt und auf die mannigfaltigste Weise von ihr zur Geltung gebracht wird. Die baumartigen Gewächse besitzen in ihren verholzenden negativ geotropischen Stämmen das Mittel, sich über die sie umgebenden, concurrirenden Nachbarn zu erheben, andere Pflanzen, wie Aroideen etc., erklimmen ansehnliche Höhen, indem sie sich unserm Epheu ähnlich mittelst Luftwurzeln an Felsen und Stämmen anheften. Die Rubus-Arten und die Ostindischen Rohrpalmen werfen sich, oder besser gesagt, sinken über sie umgebende Pflanzen herab, dort mit ihren hakigen Stacheln, hier mit den stachlichen Fiederblättern sich anhaltend. Die vollkommensten unter den Kletterpflanzen, wie wir die letzterwähnten Pflanzen nennen, sind die Rankenpflanzen und die Schlingpflanzen, jene ausgerüstet mit besonderen, ausschliesslich zum Klettern bestimmten, aus der Sprossachse entspringenden Organen (Ranken, Blattstielen etc.), diese mit einer Sprossachse, welche selbst befähigt ist, aufrechte Stützen zu umschlingen und an ihnen emporzuklettern. Die Schlingpflanzen rekrutiren sich aus einer grossen Anzahl verschiedener Pflanzenfamilien; schon Mohl führt gegen 40 Familien an, aus denen er 866 Arten als Schlingpflanzen beschrieben vorfand.

Die bisher mit Schlingpflanzen zum Zweck einer Erklärung des Mechanismus ihrer Bewegung angestellten Versuche und die darüber mitgetheilten Beobachtungen beziehen sich auf eine verhältnissmässig sehr kleine Zahl dieser Gewächse. So sehr auch die Anwendung von Analogieschlüssen auf naturwissenschaftlichem Gebiete gestattet und so oft dieselben schon fruchtbringend gewesen ist, so würde man doch in diesem Falle zu weit gehen, wollte man schon jetzt von einer Erklärung des Windens der Pflanzen überhaupt sprechen, und die Erfahrungen, welche man an wenigen Vertretern gesammelt, auf die Gesammtheit der Schlingpflanzen ohne Weiteres übertragen. Der Titel der neuesten über diesen Gegenstand erschienenen Schriften „Ueber das Winden der Pflanzen", etc. wird daher von diesem Standpunkt aus zu beurtheilen sein. Aus diesem Grunde ist auch das, was ich in Folgendem mittheile, nur ein Beitrag zur Erkenntniss der betreffenden physiologischen Vorgänge und es bleibt späterer Zeit vorbehalten, auf dem Grunde einer grossen Menge von Einzelbeobachtungen das Gebäude einer durchgreifenden Erklärung des Bewegungsmechanismus der Schlingpflanzen in toto aufzubauen. Es geht dem Beobachter auch hier bei physiologischen Forschungen, wie auf vielen anderen Gebieten des Wissens. Die Natur vervielfältigt wie der antike Proteus ihre Formen unter den Blicken des Beobachters, und wenn dieser eine ihrer Erscheinungen ergriffen zu haben glaubt, erkennt er, dass für ein erforschtes Gesetz tausend neue Probleme sich erheben und ihm in überreicher Fülle Stoff zu erneuter Thätigkeit liefern.

Historisches.

Alle Forscher, welche bisher eingehende Untersuchungen über das Winden der Schlingpflanzen anstellten, stimmen darin überein, die kreisförmige Nutation als nothwendig für das Zustandekommen von Windungen anzusehen. Es ist dabei zunächst gleichgültig, dass Mohl[1]) und Palm[2]), welche zuerst und zwar Beide in demselben

1) H. v. Mohl, Ueber den Bau und das Winden der Ranken und Schlingpflanzen. 1827.

2) Palm, Ueber das Winden der Pflanzen. 1827.

Jahre (1827) Arbeiten über das Winden der Pflanzen veröffentlichten, noch nicht die richtige Vorstellung über das Wesen dieser kreisförmigen Nutation hatten, sondern dass erst Darwin die richtige Erklärung für deren Entstehen gab. Alle kamen auch weiterhin in gleicher Weise zu der Annahme, dass diese kreisende Nutation allein nicht zum Winden führen könne. Deshalb nahm Mohl eine der der Ranken analoge Reizbarkeit des Stengels zu Hülfe. Im dritten Abschnitte seiner Arbeit sagt er wörtlich: „Bei der Schlingpflanze hören, wie sie mit einer Stütze in Berührung kommt, die Kreisbewegungen (Mohl meint die rotirende Nutation des Sprossgipfels, die er für eine direkte Folge der Torsion des Stengels hält) auf und mit ihnen die schiefe Richtung der Fasern des Stengels. Auch in ihr (nämlich der Schlingpflanze) entwickelt sich nun eine Reizbarkeit, die ebenfalls, wie man an der jungen Cuscuta sieht, im Zellgewebe ihren Sitz hat. Reizbar ist aber nur der Theil des Stengels, welcher noch keine Kreisbewegungen gemacht hat. Durch diese Reizbarkeit wird nun der Stengel um die Stütze gewunden.“ [1]) Neben anderen führt Mohl als besonders deutlichen Beweis der Reizbarkeit eine Beobachtung an, die ich hier erwähnen will, weil eine spätere Bemerkung von mir sich auf dieselbe bezieht; nämlich die, dass die eine Stütze berührende Schlingpflanze nicht nur vom Berührungspunkte aufwärts windet, sondern dass sich auch noch eine kurze Strecke des unterhalb des Berührungspunktes liegenden Stengels mittelst einer von oben nach unten fortschreitenden Biegung an die Stütze anlegt. [2])

Palm betrachtete das Winden als eine einfache Fortsetzung der Nutationsbewegung; Dutrochet[3]), der ungefähr 20 Jahre später nachwies, dass die Nutationsbewegung, das Winden, die Torsion und die Blattstellungsspirale bei der Mehrzahl der Windepflanzen dieselbe Richtung haben, erblickte in den Windungen ebenfalls gleichsam erstarrte Nutationskrümmungen. Beide, Palm und Dutrochet, leugneten Mohl's Reizbarkeit, ohne aber Gegenbeweise zu bringen. Letzteres versuchte zuerst Darwin, der in seinem Werkchen: On

1) Mohl. l. c. pag. 142.

2) Mohl l. c. pag. 148.

3) Dutrochet. Comptes rendus 1844 XIX. pag. 295 ff. Annales des Sciences nat. 3. Série. II. pag. 163.

the movements and habits of climbing plants 1865 ein reiches Beobachtungsmaterial niederlegte. Er suchte sich zu überzeugen, dass eine der Reizbarkeit der Ranken analoge Reaktionsfähigkeit bei den windenden Stengeln nicht vorhanden sei; allein seine Versuche waren mangelhaft, und er wagte es nicht, die Möglichkeit einer Reizwirkung durch andauernde Berührung überhaupt in Abrede zu stellen. Der Mangel eines durchschlagenden Gegenbeweises gegen die Reizbarkeit war die Veranlassung, dass sich die Mohl'sche Vorstellungsweise lange Zeit erhielt und in alle Lehrbücher der Botanik aufgenommen wurde. Sowohl in den ersten Auflagen seines Lehrbuches als in seinem 1865 erschienenen Handbuch der Experimental-Physiologie huldigt Sachs derselben. „Der Vorgang gehört offenbar in dieselbe Kategorie, wie die Bewegung eines Mimosenblattes nach Berührung der Unterseite seines Polsters, und wenn das Wort Reiz auf diesen angewendet wird, so gilt es sicherlich auch auf die Ranken und schlingenden Stämme."

Darwin's übrige Anschauung über das Winden schloss sich eng an die Palm'sche an. Unterschied Palm in höchst unklarer Weise zwei Arten von Bewegungen der Schlingpflanzen, erstens eine Bewegung, durch welche der obere Theil des Stengels im Kreise umhergeführt, und, wenn er mit einer Stütze in Berührung kommt, um dieselbe gewunden wird („Bewegung um die Stütze"); zweitens eine Drehung der Pflanze „um sich selbst"; zwischen welchen beiden Bewegungen nach ihm keine nothwendige Beziehung ist, welche beide selbstständig, von einander unabhängig sind, so brachte Darwin den unglücklichen Vergleich an's Tageslicht: Der windende Stengel bewege sich um die Stütze so, wie ein geschwungenes Seil, das an eine Stange trifft und sich in der Richtung der schwingenden Bewegung um diese wickelt. Diese Anschauung ist ohne Weiteres zu verwerfen, da erstens von einer der Centrifugalkraft des geschwungenen Seils vergleichbaren Kraft bei der Nutationsbewegung nicht die Rede sein kann; zweitens weil jenes Seil sich nur um die Stütze als Achse bewegt, was die windende Pflanze nicht thut, denn die Achse der nutirenden Bewegung fällt in der Regel gar nicht mit der Achse der Stütze zusammen, sie ist meist stark geneigt gegen die Stütze und bewegt sich im Raum fort; drittens kommt nicht auf jeden Nutationsumlauf eine Windung,

was nach der Darwin'schen Auffassung geschehen müsste. Des letztgenannten Widerspruchs war sich Darwin wohl bewusst; er hatte wohl beobachtet, dass in den meisten Fällen die Anzahl der Nutationsumläufe die Zahl der dadurch erzeugten Windungen bei Weitem übertrifft; er suchte aber den Grund dafür in den Störungen der Nutationsbewegung durch das Umwinden der Stütze [1]), eine Annahme, die jeder Begründung entbehrte.

Der Nächste, der nach Darwin über das Winden arbeitete und schrieb, war Hugo de Vries. [2]) Er knüpfte an der Reizbarkeit seine Untersuchungen an und hielt zwei Versuche für besonders entscheidend, dauernde Berührung durch eine bewegliche Stütze ohne Verhinderung der Nutation erstens auf der bei der Nutation vorangehenden Seite und zweitens auf der bei der Nutation hinteren Seite des Stengels. Mit Hülfe seines einer Coulomb'schen Drehwaage ähnlichen Apparates zeigte de Vries, dass eine Reizbarkeit der windenden Stengel nicht zu erweisen sei. Hier ist nun einzuwenden, dass die von de Vries angestellten Versuche Nichts beweisen, weil eine dauernde Berührung der Schlingpflanze an einer Stelle bei ihnen überhaupt in Wirklichkeit gar nicht hergestellt war und werden konnte. Der in seinen Nutationsbewegungen nicht gehinderte Stengel ändert eben in Folge der Nutation fortwährend seine Lage im Raum. Folge davon ist, dass auch die bewegliche Stütze, wie mir sehr zahlreiche, sorgfältige Wiederholungen dieser Versuche zeigten, fortwährend eine andere Lage zum Stengel einnimmt; sie schiebt sich immer am Stengel hin, der Berührungsort wird fortwährend ein anderer, mag die Stütze nun an der vorangehenden Seite des Stengels anliegen und passiv fortgeschoben werden, oder an der Rückseite und vermöge der Fadentorsion folgen.

Nach de Vries kommt das Winden dadurch zu Stande, dass durch geeignetes Zusammenwirken der Nutationsbewegug (die er richtiger Weise, abweichend von der bisherigen Anschauung, in Vertikalebenen stattfinden lässt) und einer durch das Gewicht der Endknospe hervorgerufenen periodisch auftretenden Bewegung der nutirenden Spitze nach der Stütze hin das Stengelende fortwährend

1) Darwin l. c. pag. 13—14. pag. 31.

2) Hugo de Vries. Arbeiten des bot. Instituts in Würzburg. 3. Heft. 1873. pag. 317 ff.

dieselbe gegen die Stütze concave Form beibehält und so zu sagen um die Stütze herum wächst. Das feste Anlegen der auf diese Weise gebildeten anfangs lockeren Windungen bewirkt nach de Vries nachträglich der negative Geotropismus. Ich kann hier darauf verzichten, näher auf Einzelheiten der Entwickelungen de Vries's einzugehen und sie zu widerlegen, da bereits Schwendener die Wirkungslosigkeit des Gewichts der Endknospe experimentell nachwies, wodurch ja allein schon der de Vries'schen Anschauung jeder Boden entzogen wird.

Die Darstellung der Mechanik des Windens, die Sachs in der vierten Auflage seines Lehrbuches (1874) giebt, stützt sich vorwiegend auf die Ergebnisse der Untersuchungen von de Vries. Wesentlich ist, dass Sachs hier zuerst den Geotropismus als Componente des Bewegungsmechanismus beim Schlingen anführt, indem er sagt: „Es ist nicht unwahrscheinlich, dass das Steilerwerden der anfangs niedrigen, zuweilen fast horizontalen Windungen durch Geotropismus bewirkt wird.[1]) Auch Pfeffer[2]) widmet den Schlingpflanzen in seiner „Pflanzenphysiologie“ ein besonderes Capitel, in dem er in vortrefflicher Weise das bereits Bekannte zusammenfasst, ohne jedoch etwas Neues zu bringen. Trotzdem gebe ich hier in kurzen Sätzen seine Meinung wieder, um den Stand der Frage vor Schwendener zu kennzeichnen.

Die Circumnutation ist Ursache des Windens, sobald der sich bewegende Spross mit irgend einer Seite auf eine vertikale Stütze trifft. Der Spross wickelt sich ähnlich einem im Kreise geschwungenen Taue, das man an eine Stange schlagen lässt, um die Stütze.[3]) Die Windungen, die zunächst nicht anliegen, werden durch den negativen Geotropismus gestreckt und dadurch an die Stütze gepresst. Der Durchmesser der Stütze hat Einfluss auf den Neigungswinkel der Schraubenwindungen. Das Winden ist nicht Folge einer durch Contakt mit der Stütze ausgelösten Reizung. Die Torsionen des Stengels entstehen unabhängig von der Circumnutation und sind nicht die Ursache dieser und des Windens, wohl aber beschleunigen oder verzögern sie die Circumnutation. Die Sprossspitze ist gegen

1) J. Sachs. Lehrbuch der Botanik. IV. Aufl. 1874. pag. 836.
2) W. Pfeffer. Pflanzenphysiologie. Bd. II. pag. 204 ff.
3) cf. pag. 6 meiner Abhandlung.

die Stütze mehr oder weniger concav gekrümmt. Diese Concavität wird erhalten durch Achsendrehungen in Folge der Nutation und der Torsion in älteren Internodien und durch das vom Gewicht der Spitze auf die tragenden Internodien ausgeübte Torsionsmoment.

Abweichend von allem bisher Angeführten ist die Theorie des Windens, die S. Schwendener[1]) in einer am Anfang des vorigen Jahres erschienenen Arbeit aufstellt, welche zwar mit grossem Geschick erdacht ist, aber sich deshalb als nicht haltbar erweist, weil sie nur auf specielle Fälle anwendbar ist, auf andere Fälle regelmässigen Windens aber nicht passt. Schwendener betrachtet als nothwendige Faktoren des Windens den Geotropismus und die rotirende Nutation; in Verbindung mit der letzteren bringt er ein periodisch wiederkehrendes Ergreifen der Stütze durch das Stengelende. Dieses Ergreifen aber hat eine antidrome Torsion des Stengels zur Folge, durch welche das nutirende Stengelende gezwungen wird, fortwährend seine Concavität der Stütze zuzukehren.

Diese Greifbewegung ist der wunde Punkt an Schwendener's Theorie. Gegen sie sprechen alle Fälle, wo Pflanzen um sehr dicke und um sehr dünne Stützen winden; an ersteren ist das Ergreifen überhaupt unmöglich, an letzteren wäre es möglich, kommt aber in Wirklichkeit nur selten vor. Diese Greifbewegung kann man nur bei Stützen mittlerer Dicke herausconstruiren, bei Stützendicken, wie sie Schwendener fast durchgehend angewendet hat. Ich werde unten den Verlauf dieser Greifbewegung darstellen, und die Umstände, unter denen das Ergreifen nicht stattfindet und doch regelrecht gewunden wird, genau anführen. Von Werth in Schwendener's Schrift ist die Widerlegung des Einflusses des Eigengewichtes der Endknospe und der Nachweis der Wechselbeziehung zwischen dem Durchmesser der Stütze und der Neigung der Windungen. Was er über die Torsionen mittheilt und was ihn veranlasste, die Reizbarkeit der Stengel in Abrede zu stellen, darauf gehe ich im Verlauf dieser Abhandlung noch näher ein.

Einer Betrachtung möchte ich noch Raum geben. Das Ergreifen der Stütze durch das nutirende Ende wiederholt sich nach Schwendener in ganz unbestimmten Zwischenräumen, der Zeitpunkt, wo

1) S. Schwendener. „Ueber das Winden der Pflanzen". (Monatsbericht der kgl. Academie der Wissenschaften vom December 1881.)

dieses Ergreifen stattfindet, ist zufällig. Dann könnten unmöglich die Windungen so regelmässig ausfallen, wie sie in Wirklichkeit sind, dass man die Abstände der Windungen mit dem Zirkel vergleichen kann. Dann würden die Windungen ganz unregelmässig aussehen, dann würde es oft vorkommen müssen, dass eine Schlingpflanze eine Strecke windet, darauf eine Strecke nicht windet u. s. f. Ein Grund für eine in ganz bestimmten Perioden zum Ergreifen der Stütze führende Spannung im nutirenden Stengel ist durchaus nicht vorhanden. Man weiss überhaupt nicht, woher jedesmal die grosse zum Ergreifen nöthige Spannung kommen soll; denn diese Spannung müsste doch bedeutend grösser sein als die im einfach nutirenden Stengel.

Im Anschluss an diese Schwendener'sche Schrift erschien im Januarheft 1882 der Arbeiten des botanischen Instituts in Würzburg eine „Notiz über Schlingpflanzen" aus Sachs's Feder, welche sich gegen die Annahme Schwendener's, dass die ohne Stütze entstandenen bleibenden Windungen als Ausnahmen zu betrachten seien, welche mit dem normalen Winden um eine Stütze in keinem Zusammenhang stehen, wendet und darlegen soll, dass vielmehr auch ganz gesunde normal wachsende Sprosse von Schlingpflanzen sogenannte „freie Windungen", d. h. Schraubenwindungen ohne Berührung einer Stütze zu bilden vermögen. Als Pflanzen, welche diese freien Windungen sehr häufig zeigen, führt Sachs Menispermum canadense, Akebia quinata, Phaseolus multiflorus, Ipomaea purpurea, Dioscorea batatas etc. an. Schwendener legte seine Meinung über diesen Gegenstand nochmals dar in einer Erwiderung auf die Sachs'sche Notiz, betitelt: „Zur Kenntniss der Schraubenwindungen schlingender Sprosse." [1]) Darin unterscheidet er drei Arten, wie Schraubenwindungen an Schlingpflanzen sich bilden, nämlich erstens durch die mit der rotirenden Nutation zusammenhängenden Krümmungen, zweitens durch Torsions- und Longitudinalspannung und drittens durch Krümmungen in Folge der greifenden Bewegung des Sprossgipfels. Da die zuerst genannten Krümmungen durch den Geotropismus wieder zerstört werden, die unter „drittens" angeführten aber nur bei Gegenwart einer Stütze entstehen können, die

1) S. Schwendener. Pringsheim's Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik. Bd. XIII. Heft 2.

freien Windungen aber ohne Stütze erzeugt und dauernd sind, so ordnet er dieselben dem zweiten Falle unter und setzt sie vollkommen analog den freien Spiralwindungen der Ranken, der weiblichen Blüthenstiele von Vallisneria spiralis, der Fruchtschnäbel von Erodium u. s. f.

In seinen „Vorlesungen über Pflanzenphysiologie" vereinigt Sachs in gewohnter, meisterhafter, doch der Tendenz des Buches entsprechend subjektiver Darstellung unsere bisherigen Kenntnisse zu einem abgerundeten, einheitlichen Bilde, wird aber, was nicht zu verkennen ist, in seiner früheren Bestreitung der Reizbarkeit wankend.

Vor einigen Wochen, lange nach Abschluss meiner Untersuchung, welcher im Juli dieses Jahres bereits stattfand, erschien eine umfangreiche Abhandlung von J. Baranetzki,[1]) deren zweiter Theil das Winden der Stengel zum Gegenstande hat. Die Baranetzki'schen Versuche konnten deshalb naturgemäss nicht berücksichtigt werden und auch das, was ich über seine Mittheilungen hier sage, konnte nur nachträglich eingefügt werden. Baranetzki schliesst sich eng an Schwendener an in der Behandlung der Windefrage. Mit letzterem verwirft er die Reizbarkeit und den Einfluss des Gewichtes der Endknospe (ohne neue Gegenbeweise zu bringen) und sieht den Geotropismus und die rotirende Nutation als Bedingungen des Windens an. An Stelle des Schwendener'schen Ergreifens der Stütze durch das nutirende Stengelende setzt er die ebenfalls von Zeit zu Zeit sich wiederholende Wirksamkeit einer Hakenkrümmung der Stengelspitze, ein periodisch wiederkehrendes „Anhaken" des Stengels an die Stütze. Die Entstehung des Hakens erklärt Baranetzki mit Hülfe eines im ersten Theil seiner Schrift aufgestellten Satzes, der aber durchaus jedes Beweises entbehrt, nach welchem eine nutationsfähige Spitze, wenn sie sich in horizontaler Lage befindet, sich hauptsächlich in horizontaler Ebene krümmt (Baranetzki's „transversale" Krümmung). Nachdem die Sprossspitze sich aufgerichtet und eine Weile symmetrisch (d. h. mit der Stütze als Nutationsachse) nutirt hat, soll nun das Ende in die horizontale Lage herabsinken (warum? erfährt man nicht) und in derselben sich

1) J. Baranetzki. Die kreisförmige Nutation und das Winden der Stengel. (Mémoires de l'académie impériale des sciences de St. Pétersbourg. VIIe Série. T. XXXI. No. 8.)

vorwiegend in der Horizontalebene hakenförmig krümmen. Der ebengebildete Haken soll dann im weiteren Verlauf des Vorganges durch wiederholte asymmetrische (d. h. mit geneigter Nutationsachse) Nutation die Stütze fassen und dann dasselbe Spiel sich wiederholen. Da jedoch die Baranetzki'sche Abhandlung gerade in Bezug auf den Werth dieser Hakenkrümmungen für das Winden auffallende Widersprüche enthält, so gehe ich hier nicht näher darauf ein. So sagt z. B. Baranetzki, nachdem er auf Seite 55 u. ff. die Mitwirkung des hakenförmigen Endes als nothwendig beim Winden hingestellt hat, auf Seite 65: Aus dieser Thatsache ist auch zu sehen, dass die oben angegebene mechanische Bedeutung der hakenförmigen Krümmung der Spitze, welche Krümmung in den gewöhnlichen Fällen dazu beiträgt, das Umwinden der Stütze ausserordentlich sicher (?) zu machen, doch keineswegs als eine nothwendige Bedingung des Windens anzusehen ist.

Lässt, wie es scheint, Baranetzki in seiner Theorie die Wirkung des hakenförmigen Endes fallen, so ist er wieder auf dem Standpunkt vor Schwendener; lässt er dieselbe aber gelten, so können und müssen ihr ganz dieselben Einwürfe gemacht werden, wie dem Schwendener'schen Ergreifen der Stütze.

Nach dem Gesagten muss die Frage über das Entstehen der Windungen noch immer als unbeantwortet betrachtet werden und es wird gerechtfertigt erscheinen, wenn ich meine eigenen Erfahrungen über Schlingpflanzen als kleinen Beitrag zur Klärung der Verhältnisse hier zur Darstellung bringe.

Veranlasst wurde ich zu diesen Untersuchungen durch Herrn Professor Dr. de Bary, welchem ich mit grösster Freude an dieser Stelle für seine überaus freundliche Hülfe und anregende Unterstützung meinen ergebensten Dank ausdrücke; den Ausgangspunkt bildete die obengenannte Schrift Schwendener's „Ueber das Winden der Pflanzen."

Drei Componenten sind es, welche nach meinen Versuchen die Schlingbewegung zu Stande bringen; erstens die nutirende Bewegung der wachsenden Stengelspitze, zweitens der negative Geotropismus derselben und drittens die Reaktionsfähigkeit des Stengels auf einen andauernden seitlich in bestimmter Weise wirkenden Druck.

Ueber die erste dieser Componenten, über die rotirende Nutation, stimmen die Forscher überein. Sie wird ohne Mitwirkung äusserer Anstösse allein dadurch hervorgebracht, dass verschiedene Längslinien am Umfang des Sprosses fortschreitend stärker in die Länge wachsen, als die benachbarten, und zwar liegen die Stellen grössten Wachsthums in einer um den Stengel nach oben aufsteigenden, mit der Windungsrichtung coincidirenden Spirale. Dadurch geräth der ganze Sprossgipfel in eine beständige Bewegung, vermöge deren jeder Punkt der obersten Internodien Kreise oder Ellipsen beschreibt. Diese Bewegung bewirkt nicht nur das endliche Zusammentreffen mit einer in der Nähe befindlichen Stütze, sondern dauert auch nach demselben fort und bestimmt die Windungsrichtung. Das Winden tritt ein, sobald ein Punkt des circumnutirenden Stengels auf einen dauernden Widerstand trifft, der die fernere Nutationsbewegung nicht hindert. Dieser Widerstand wirkt nur als Berührungsreiz, wie wir weiter unten sehen werden, und es ist deshalb die durch Darwin geschaffene Vorstellungsweise, der Spross wickle sich in analoger Weise um die Stütze, wie ein im Kreise geschwungenes Tau, das man an eine Stange schlagen lässt, eine dem wirklichen Vorgange nicht entsprechende. Auch der Satz Pfeffer's:[1]) Winden tritt ein, sobald die circumnutirende Bewegung in entsprechender Weise aufgehalten wird, ist nach meinen Erfahrungen nicht richtig, denn ich werde bei den Versuchen über die Reizbarkeit windender Stengel zeigen, dass auch Berührung ohne die geringste Hinderung oder ein Aufhalten der Nutationsbewegung Winden veranlasst.

Die Nutationsrichtung und die Windungsrichtung fallen stets zusammen, und auch bei den Pflanzen, welchen die Constanz in der Richtung des Windens fehlt, bei welchen entweder verschiedene Sprosse desselben Stockes links oder rechs winden, Polygonum complexum, oder ein und derselbe Spross abwechselnd in verschiedenem Sinne windet, wie bei Blumenbachia lateritia, Scyphantus elegans, Hibbertia deutata etc., hängt die veränderte Windungsrichtung von einer aus bisher noch unbekannten Gründen in die entgegengesetzte Richtung sich umsetzenden Nutationsrichtung ab.

1) Pfeffer, l. c. pag. 204.

Das Zusammenfallen der Windungsrichtung mit der Richtung der Blattinsertionsspirale habe ich nicht immer bestätigt gefunden.

Gleichzeitig mit der rotirenden Nutation wirkt der negative Geotropismus auf die wachsenden Stengeltheile und die Bewegung der Stengelspitze oder besser jedes Punktes derselben ist die Resultante aus beiden. Vermöge der geotropischen Eigenschaft suchen die wachsenden Stengeltheile sich vertikal zu stellen und thun es in der That, sobald die Nutationsbewegung zu Ende geht, wenn die Stütze fehlt, oder wenn keine dauernde Berührung in vertikaler oder annähernd vertikaler Richtung stattgefunden hatte. Es ist richtig, dass sich spiralige Krümmungen auch bilden, wenn man auf irgend eine Weise einen Punkt des Stengels aufhält, z. B. durch Befestigen eines Punktes der Rückseite des nutirenden Sprosses, allein diese gebildeten Spiralen haben nichts zu thun mit normalen um die Stütze gebildeten Windungen; sie sind vorübergehend und gleichen sich, vorausgesetzt, dass die Pflanze normal weiter wächst, durch den Geotropismus vollständig wieder aus. Während, wie ich später ausführlich zeigen werde, bei normalen um eine Stütze gebildeten Windungen durch die Berührung vom Augenblick des Contaktes an eine Längendifferenz der Innen- und Aussenseite des Stengels erzeugt wird, die eine nachherige vollständige Streckung der Windungen auch nach späterer Entfernung der Stütze durch den Geotropismus ganz unmöglich macht, so bleiben hier die Kanten oder Seitenlinien nahezu gleich lang, und nur durch Erlöschen des Wachsthums können solche Windungen dem Einfluss des Geotropismus entzogen und somit bleibende werden; ich komme hierauf weiter unten zurück.

Aus dem bisher Gesagten ergiebt sich von selbst, dass wir mit diesen beiden Faktoren bei der Bildung normaler Windungen nicht auskommen, wir müssen als dritten Faktor eine Reaktionsfähigkeit des windenden Stengels auf einen dauernden Längsreiz annehmen. Ehe ich jedoch dazu übergehe, Argumente für die Existenz dieser Reizbarkeit zu erbringen, will ich vorher einen kritischen Blick auf die zweite der von Schwendener zum Winden als nöthig erachteten Bedingungen, auf das Ergreifen der Stütze durch den nutirenden Sprossgipfel, werfen. Die Schlingpflanze soll nach Schwendener in ähnlicher Weise, wie man etwa mittelst Daumen und Zeigefinger eine cylinderische Glasröhre oder ein Weinglas an-

zufassen pflegt, die Stütze ergreifen. Die Endknospe wird nach ihm von Zeit zu Zeit mit der Stütze in Berührung gebracht, der sichelförmige Raum zwischen Stütze und dem durch den Stengel gebildeten Bogen, welcher in den beiden sogenannten Contaktpunkten endet, soll in Folge eines Bestrebens des Stengels, den Krümmungsradius zu verringern, allmälig kleiner und kleiner werden und verschwinden und dadurch der Stengel der Stütze angedrückt und die Windung vollendet werden. Die Contaktpunkte rücken continuirlich nach oben fort und die Stütze wird im Verlauf des Windens immer in derselben Weise ergriffen. Dieses periodische Ergreifen der Stütze hat sich schon deshalb als ganz zufällig und nebensächlich erwiesen, und kann unmöglich als zum Winden erforderlich gelten, als es nur in besonderen Fällen beobachtet wird, als es dagegen gerade die besten Schlinger, zu denen auch die Schwendener'sche Versuchspflanze, die Calystegia dahurica gehört, in den weitaus meisten Fällen während des regelmässigen Windens nicht zeigen. Stengel von Calystegia dahurica liess ich um Glas und Seidenfäden von minimaler Dicke (0,5 mm) winden; sie vollendeten zahlreiche Windungen, ohne mit dem frei nutirenden Ende sich der Stütze angelegt zu haben, ohne die Stütze ergriffen zu haben (siehe Figur 2 und 4). Geschah dies Anlegen wirklich, so wurde, auch wenn ich die Spitze sofort von der Stütze wieder entfernte, das regelmässige Winden trotzdem fortgesetzt. Auch auf die extremen Fälle bei Anwendung sehr dicker Stützen passt diese Auffassung nicht. Legte ich nämlich derselben Pflanze Glasröhren von 15 mm und mehr Durchmesser vor, so bildeten sich zahlreiche Windungen, wobei die Stengel der Stütze bis auf ein kleines, meist kaum 1 cm langes freies Ende, welches sich bisweilen in Folge der Nutationsbewegung abhebt, anlagen. Schwendener führt selbst diesen Fall an anderer Stelle mit den Worten an: „Die Pflanze wächst auf der Oberfläche einer solchen (sehr dicken) Stütze gleichsam kriechend mit stetig angeschmiegtem Gipfel fort und bildet regelmässige Windungen.“ Auch hier kann also von dem oben dargestellten Mechanismus nicht die Rede sein (siehe Figur 3). Wendet man, wie Schwendener es gethan, Stützen von ca. 10 mm an, so kommt allerdings die nutirende Spitze oft in Berührung mit der Stütze, es ist aber zufällig und eben deshalb ohne Bedeutung; denn hebt man auch hier die Spitze

sofort ab (ohne den nun sich abspielen sollenden Process der Verkürzung des Krümmungshalbmessers und des allmäligen Anlegens des Nutationsbogens an die Stütze abzuwarten), so geht auch hier dennoch das regelmässige Winden ungestört von Statten. Unmöglich kann Schwendener das Ergreifen der Stütze auf die beschriebene Weise für den Hopfen in Anspruch nehmen, der doch in der ausgezeichnetesten Weise windet. Kräftige Stengel von Humulus Lupulus, die ich an gespannten Drähten und Bindfäden winden liess, vollendeten zehn, zwölf und noch mehr regelrechte Windungen, ohne auch nur ein einziges Mal mit der immer frei nach aussen abstehenden Spitze oder einem in deren Nähe liegenden Punkte die Stütze berührt zu haben. Figur 5 stellt das nutirende Ende eines um einen dünnen Metalldraht nutirenden Hopfenstengels dar. Ich beobachtete weiter, dass einige Schlingpflanzen, Tamus communis und Dioscorea villosa die Eigenthümlichkeit haben, den ganzen Sprossgipfel in einer Länge von 1 dm und mehr beständig in einem steilen Bogen nach unten gerichtet zu halten. (Diese Krümmung ist jedenfalls durch positiven Geotropismus veranlasst, denn beim Drehen am Klinostaten streckten sich abgeschnittene Sprossgipfel ziemlich gerade. Hängt man solche verkehrt auf, so dass der Bogen nach oben offen ist, so biegt sich in kurzer Zeit die Spitze, während nebenher lebhafte Nutationskrümmungen ausgeführt werden, steil nach unten.) Bis zur Anfangsstelle dieses Bogens reichen die fertigen Windungen. Hier ist es demnach unmöglich, dass die Stengelspitze irgend welche Rolle beim Winden selbst spielt: ein Ergreifen der Stütze durch die Stengelspitze ist vollständig unausführbar, und doch winden die genannten Pflanzen regelmässig um ihre Stützen.

Kam bei den Versuchen mit verhältnissmässig dünnen Stützen (1—6 mm) die Stengelspitze oder ein ihr naheliegender Punkt in der That zum Anlegen an die Stütze, so betrug die Entfernung dieses sogenannten oberen Contaktpunktes vom unteren in vielen Fällen 120° und weniger; hierbei wird die Wirkungsweise des greifenden Endes nach der Schwendener'schen Auffassung hinfällig.

Der im dritten Paragraphen der Schwendener'schen Schrift beschriebene Versuch, der den Vorgang des Ergreifens der Stütze verdeutlichen soll, trägt, wie ich glaube, wenig Beweiskraft in sich. Warum sollte die Pflanze nicht winden? Es liegt keine Veranlassung

vor, das Winden einzustellen, da durch den Draht ts (Fig. 9) die Stütze, wenn auch im Raume beweglich, für die Schlingpflanze in eine genügend feste verwandelt wird.

Das Ergebniss dieser Betrachtungen ist, dass das Ergreifen der Stütze durch den Sprossgipfel im Schwendener'schen Sinne in den weitaus meisten Fällen überhaupt nicht stattfindet, dass es mithin beim Winden entbehrlich ist und nicht als nothwendige Bedingung für dasselbe betrachtet werden darf. Bei ca. 1 cm dicken Stützen, wie sie Schwendener für Calystegia dah. meist zur Anwendung brachte, kommt zufällig das Anlegen der Spitze relativ häufig vor, aber auch nur für diesen Spezialfall ist die Schwendener'sche Anschauungsweise gemacht und passend, für die Mehrzahl der Fälle aber ist sie durchaus nicht anwendbar.

Schon oben nahm ich als einen beim Winden mitwirkenden Faktor eine Reaktionsfähigkeit des Sprossgipfels auf eine dauernde, einseitige Berührung in Anspruch, und ich will in Folgendem einige Versuche, die ich aus einer grossen Reihe zu demselben Zwecke angestellter herausgreife, anführen, welche, wie mir scheint, die Reizbarkeit windender Stengel ausser allen Zweifel setzen, welche uns zwingen, derselben eine nothwendige Mitwirkung zuzuschreiben, und darauf hindeuten, dass wahrscheinlich zwischen den auf Druck ausserordentlich schnell und stark reagirenden Ranken und den Stengeln der Schlingpflanzen ein continuirlicher Uebergang besteht. Die Versuche, welche bisher zum Nachweis der Reizbarkeit angestellt worden sind, sind in der That wenig beweisend und oft schwer zu beurtheilen, weil sie uns nur mit sehr mangelhafter Genauigkeit überliefert sind. Darwin rieb nutirende Sprossgipfel und band an andere eine leichte Holzgabel, ohne Windungen oder Krümmungen zu erhalten. Der erste Versuch entzieht sich unserer Beurtheilung, weil wir nirgends erfahren, wo und wie Darwin die Pflanzen gerieben hat; der zweite Versuch konnte kein Resultat ergeben, denn, wie wir bald sehen werden, ruft dauernder Druck eine Verkürzung oder besser ein Kürzerbleiben der gedrückten Seiten des Internodiums hervor. Da jene Holzgabel jedenfalls auf zwei einander gegenüberliegende Seiten des Stengels drückte, konnte eine Krümmung nicht entstehen, wohl aber eine, wenn auch unbedeutende Torsion des so behandelten Stengels. Ebensowenig beweist der Drehwagenversuch

von de Vries, den Schwendener wiederholte, etwas gegen die Reizbarkeit, wofür ich die Gründe bereits im historischen Theil dieser Abhandlung anführte und unten kurz wiederhole. De Vries beschreibt den Versuch nicht näher, und wenn Schwendener ihn so anstellte, wie ihn die Figur 7 seiner Tafel darstellt, so ist es nicht merkwürdig, dass er ein negatives Resultat ergab, denn die noch unentwickelten, stark im Wachsthum begriffenen Internodien der Stengel sind wenig oder gar nicht reizbar, um so mehr aber die weiter von der Spitze entfernteren, deren Längenwachsthum beinahe erloschen ist. Schwendener legte die Stütze in der Region des obersten Contaktpunktes an, also an ganz unentwickelte Internodien, was eben etwas zu hoch war. Ausserdem ist nur eine andauernde Berührung im Stande, eine Reizkrümmung hervorzurufen. Beim Drehwagenversuch ist auch diese Bedingung nicht erfüllt, denn während sich der nutirende Sprossgipfel im Raum fortbewegt, ändert sich fortwährend die Lage des Berührungspunktes oder der Berührungslinie des Stengels mit der beweglichen Stütze, mag letztere nun an der vorangehenden Seite anliegen und passiv fortgeschoben werden, oder an der Rückseite und vermöge der Fadentorsion folgen.

Ich unternahm daher, um der Lösung der Frage nach der Reizbarkeit näher zu kommen, andere Versuche. Dabei lag die Hauptschwierigkeit darin, dass sich in den meisten Fällen etwaige Reizkrümmungen und Nutationskrümmungen nicht leicht auseinander halten lassen, dass beide sich combiniren und verdecken. Trotzdem folgt aus meinen Versuchen und den sich an dieselben anschliessenden Betrachtungen mit positiver Nothwendigkeit, dass die windenden Internodien der Schlingpflanzen gegen dauernde Berührung empfindlich sind und dass die dauernd berührte Seite im Wachsthum hinter den übrigen zurückbleibt.

Versuch I. Einer kräftigen regelrecht nutirenden Calystegia wurde das eine Ende eines senkrecht herabhängenden Fadens, dessen anderes Ende lose über einen horizontalen Glasstab gelegt war, als Stütze geboten. Da dieser Seidenfaden nirgends befestigt war, gab er jeder Bewegung des nutirenden Stengels mit Leichtigkeit nach und wurde daher in Folge der kreisenden Nutationsbewegung leicht um den Stengel gewunden. Nun hätte, da der Faden die Nutation

durchaus nicht hindernd beeinflussen konnte, der Stengel sich allmälig durch den continuirlich wirkenden Geotropismus vollkommen gerade strecken müssen, wie es jeder frei ohne Stütze nutirende unter gleichen Verhältnissen bald that; allein mit Leichtigkeit konnte man erkennen, dass der Stengel spiralig gekrümmt war und blieb, dass alle den Faden berührenden Stellen concav geworden waren. Diese Spiralkrümmung wurde durch den Geotropismus nicht wieder ausgeglichen, sie war bleibend. Es war also die einfache Berührung des Seidenfadens, welche ein Kürzerbleiben der berührten Stengelparthien verursachte. Je steifer und unbiegsamer der Faden resp. Draht wird, desto bedeutender wird die Spiralkrümmung des Stengels, desto auffälliger der Längenunterschied zwischen der berührten Seite und der ihr gegenüberliegenden. Figur 1 der Tafel stellt diesen Versuch dar; st ist der Calystegiastengel, s der lose herabhängende Seidenfaden. — Figur 6 ist ein im Freien oft aufzufindendes Analogon. st ist wiederum der Stengel einer Ackerwinde (Convolvulus arvensis), welche ihre Windungen um ein zartes jeder Bewegung nachgebendes Grasblatt gebildet hat.

Versuch II. Der Plan des zweiten Versuchs war durch den ersten gegeben. Die Internodien einer unter möglichst gleichbleibenden äusseren Verhältnissen stehenden Schlingpflanze erreichen, wie mich die Erfahrung lehrte, an derselben Stütze nahezu gleiche Längen. Liess man auf ein Internodium eines um einen dünnen Draht mit grosser Regelmässigkeit windenden Stengels einen leisen Druck auf möglichst viele Punkte wirken, z. B. durch Ueberlegen einer Spirale aus haarfeinem Platinadraht oder durch Umwickeln eines Seidenfadens um das Internodium, so war zu erwarten, dass dieses Internodium im Wachsthum hinter den übrigen zurückbleiben werde, was sich an verschiedenen Calystegiapflanzen bestätigte. An Stelle des Drahtes wendete ich noch Glimmerblättchen an, zwischen welche ich den Stengel leicht einklemmte, der Erfolg war derselbe.

Versuch III. Auch durch anhaltendes leises Reiben oder Streichen einer Convexseite, welches man z. B. von Sekunde zu Sekunde wiederholen kann, wandelt sich dieselbe stets und allmälig in eine concave um; das Gleiche gelingt durch Aufsetzen kleiner Reiter von Glas oder Platinadraht; im letzten Falle sah ich immer

kleine sattelförmige Einbiegungen im Stengel, und an der Stelle der grössten Concavität befanden sich die drückenden Gewichtchen, die, da sie meist nur Bruchtheile eines Millegrammes betrugen, ausschliesslich durch Berührung als Reiz und nicht mechanisch drückend oder biegend wirkten. Wie ich schon oben bemerkte, treten bei diesen Versuchen immer die Nutationskrümmungen störend auf und durch sie kann die Beurtheilung leicht gefälscht werden.

Wie bei allen Reizerscheinungen fällt auch hier eine Disproportionalität zwischen Reizursache und Reizwirkung sofort ins Auge, wenn ein kaum bestimmbares Gewicht wie im Versuch III oder eine leise Berührung wie in den Versuchen I und II Krümmungen eines immerhin dicken und verhältnissmässig steifen Stengels hervorruft. Auch zwei andere nothwendige Merkmale aller Reizerscheinungen kann man ohne Mühe erkennen, die Reizfortpflanzung und die damit zusammenhängende Nachwirkung. Wächst z. B. eine Schlingpflanze über ihre Stütze hinaus, so ist noch eine Strecke lang der freie Sprossgipfel scharf spiralig gekrümmt, schärfer als der meist viel flacheren Nutationskrümmung entsprechend, und erst bei weiterem Wachsthum streckt sich der Stengel gerade und zeigt von da ab sammt seinem Zuwachs nur noch unbedeutende, viel flachere Krümmungen, weshalb der frei nutirende Theil meist die Form eines langgestreckten S annimmt.

Nach dem zweiten zum Nachweis der Reizbarkeit windender Stengel ausgeführten Versuche musste man erwarten, dass die Stützendicke einen Einfluss auf die Länge der Internodien ausüben werde, und zwar liess sich voraussehen, dass, da der Gegendruck der Stütze auf das Internodium mit ihrem Durchmesser zunehmen muss, die Internodien an dicken Stützen am kürzesten sein würden, dass ihre Länge steigen würde mit der Abnahme der Stützendicke und dass die Internodienlängen ihr Maximum erreichen würden, wenn der Stengel um feine Fäden oder ganz frei wächst. Der Geotropismus sucht den windenden Stengel zu strecken, in die Längsachse der Stütze zu stellen. Daran hindert ihn die Stütze, und zwar um so früher und energischer, je dicker die Stütze ist, um so später und schwächer, je dünner sie ist. Jeder Punkt des Stengels möchte sich nach der Axe der Stütze hin bewegen, übt also einen Druck auf die Stützenoberfläche aus. Der Gegendruck der Stütze wird nun wie im

Versuch II das Wachsthum verlangsamend auf die berührte Seite des Stengels wirken und, da in Folge von eintretenden (wie wir später sehen werden, nie fehlenden) Torsionen successive immer andere Seitenlinien des Stengels mit der Stütze in Berührung kommen, auch das Gesammtwachsthum des Internodiums vermindern Schon der Augenschein und mehr noch genaue Messungen, denen folgende Maasszahlen entnommen sind, lehrten, wie diese a priori nothwendige Consequenz sich in Wirklichkeit vollkommen bewahrheitet. Die Internodien eines und desselben Stengels ändern sich meist auffallend plötzlich beim Uebergang von einer Stützendicke zur anderen, während sie an derselben Stütze weiterwindend, nahezu gleiche Internodienlänge beibehalten; kleine Unregelmässigkeiten, die jedoch nicht im Geringsten die Richtigkeit der Interpretation dieser Erscheinung in Frage zu setzen vermögen, sind auf Kosten kleiner Vegetationsänderungen der Versuchsobjekte zu schreiben, weshalb man eine möglichste Constanz der äusseren Lebensbedingungen der Versuchspflanze anstreben muss. —

I. Ein Calystegiastengel zeigte folgende Internodienlängen:
(die untersten Internodien, welche überhaupt noch nicht winden, lasse ich unbeachtet, weil sie stets auffallend kurz sind).

a) freigewachsen und stark homodrom tordirt
L = 79, 71, 55, 65, 59, 65, 55, 58 mm.

b) um eine 17,5 mm dicke Stütze gewunden und antidrom tordirt
L = 41, 42, 44, 41, 49, 46, 46 mm.

c) abermals frei gewachsen mit starker gleichsinniger Torsion
L = 68, 64, 55, 56, 55.
(die folgenden Internodien nehmen rasch an Länge ab, weil sie noch im Wachsen begriffen sind).

II. Calystegia dahurica.

a) frei gewachsen, stark homodrom tordirt
L = 73, 73, 62 mm.

b) gewunden um eine 3 mm dicke Stütze, schwach homodrom tordirt
L = 48, 44, 39 mm.

c) frei gewachsen, starke homodrome Torsion zeigend.
L = 58, 63, 73, 75 mm.

d) gewunden um eine 2,5 mm dicke Stütze schwach, stellenweise nicht tordirt
L = 55, 42, 43, 37, 35, 36 mm.

III. Calystegia duhurica.

a) frei, stark homodrom tordirt
L = 50, 69, 70, 72 mm.

b) gewunden um einen Glasfaden von 0,5 mm Dicke, stark homodrom tordirt
L = 50, 50, 46, 46, 48 mm.

c) gewunden; Stützendicke = 5 mm, schwach homodrom tordirt
L = 40, 30, 34, 34, 35, 33, 35.

d) frei, stark homodrom tordirt
L = (47) 56, 77, 58, 56.

Sehr instruktiv sind folgende beiden Zahlenreihen; die erste derselben stellt die Längen der aufeinanderfolgenden Internodien einer Calystegia dahurica dar, welche regelmässig um eine 13 mm dicke Glasröhre gewunden hatte, während die zweite die Länge der Internodien einer Pflanze der gleichen Art wiedergiebt, welche ihre Windungen um eine konische, von unten nach oben sich stark verjüngende Holzstütze erzeugt hatte. Der Durchmesser der Holzstütze betrug am unteren Ende 31 mm, am oberen dagegen nur 6 mm.

I.	1. = 32.	7. = 32.	
von unten	2. = 28.	8. = 27.	
	3. = 32.	9. = 26.	
	4. = 26.	10. = 26.	
	5. = 28.	11. = 22.	noch nicht
	6. = 27.	12. =	ausgewachsen.

II. a. Stützendicke	Internodienlängen	
von 31 mm	(64).	
unten	55.	
	55.	
bis	65.	
	65.	
	62.	
	72.	
	85.	
6 mm	78.	
oben	95.	frei gewachsene Internodien.
	92.	
	95.	
	110.	
	112.	
	110.	

Ipomaea sibirica.

Stützendicke	frei gewachsen
5 mm	50, 48, 48, 40, 38, 40 mm.
18 -	2 Windungen mit antidr. Torsion 30, 32 mm.
14 -	2 Windungen, Torsion antr. 32, 36 mm.
4 -	37, 36, 37, 38 mm.
0	frei gewachsen.
	48, 48, 50, 35, 35
	noch nicht ausgewachsen.

Aehnliche Zahlenreihen erhielt ich bei Messungen der Internodienlängen von Phaseolus multiflorus und Humulus Lupulus, die ich die verschiedensten Stützen umschlingen liess. Freilandpflanzen sind zu diesem Zwecke nur zu gebrauchen, wenn sie an vor Wind ganz geschützten Orten und unter sonst möglichst gleichbleibenden Verhältnissen wachsen (gleichmässige Licht- und Wasserzufuhr etc.). Da diese Bedingungen bei den mir zu Gebote stehenden Freilandpflanzen, wie Menispermum canadense, Akebia quinata, Tamus communis, Dioscorea villosa etc. nicht erfüllt waren, verzichtete ich darauf, sie zu genauen Messungen derart zu verwenden.

Neigungswinkel der Windungen.

Unter welchem Winkel die Windungen einer Schlingpflanze ansteigen, ist eine Frage, welche bisher noch wenig diskutirt worden ist. Bei oberflächlicher Betrachtung scheint die Neigung der Windungen regellos zwischen den weitesten Grenzen zu variiren; untersucht man dieselbe aber genauer und bringt man sie in Beziehung mit den jedesmal gegebenen Verhältnissen, so ergiebt sich sehr bald eine nicht zu verkennende Gesetzmässigkeit. A priori können wir erschliessen, dass die Neigung abhängen wird von zwei Umständen, erstens von der Dicke der Stütze und zweitens von der durch erstere modificirten Grösse der Verkürzung der berührten Seite des windenden Stengels. Es ist vorauszusehen, dass mit abnehmender Dicke der Stütze die Windungen steiler werden müssen, weil dann der Raum für die geotropische Aufwärtskrümmung sich mehr und mehr vergrössert. Die Steilheit wird ihr Maximum erreichen beim Winden um einen lose herabhängenden, nachgebenden Faden von minimaler Dicke und wird mit wachsendem Stützendurchmesser sich vermindern, um beim Winden um die grösste noch zulässige Stützendicke ihr Minimum zu erreichen. Ferner wird der Neigungswinkel mit der Verkürzung der berührten Seite in Wechselbeziehung stehen. Die geotropische Aufwärtskrümmung wird bei dicken Stützen den Stengel früher zum Anliegen an die Stütze bringen, als bei dünneren, es beginnt die Berührung mit der Stütze früher zu wirken, die Längendifferenz zwischen Innen- und Aussenseite des Stengels wird im ersten Falle beträchtlicher als im zweiten. Da nun weiter, was eine geometrische Betrachtung der Verhältnisse lehrt, die Längendifferenz zwischen Aussen- und Innenseite am bedeutendsten ist bei horizontaler Richtung der Windungen und kleiner wird mit wachsendem Neigungswinkel, um bei senkrechter Lage des Stengels gleich 0 zu werden, so resultirt daraus ohne Weiteres, dass bei dicken Stützen

die Neigung der Windungen sich mehr der horizontalen nähern muss, während mit dem Dünnerwerden der Stütze wegen geringerer Verkürzung der berührten Seite die Neigung mehr nach der Vertikalen hin variiren wird.

Es lässt sich geometrisch leicht entwickeln, dass die Differenz zwischen der Innen- und Aussenkante eines gewundenen Stengels am grössten ist bei horizontaler Lage der Windung; sie ist dann einfach die Differenz zwischen dem Umfang des durch die Aussenseite und dem Umfang des durch die Innenseite gebildeten Kreisbogens. Sowie die Windung einen Winkel mit der Horizontalen bildet, verwandeln sich die Kreise in parallele Schraubenlinien, deren Längenunterschiede sich ebenfalls mit Leichtigkeit berechnen lassen.

Drücken wir z. B. die Neigung der Windungen durch die Abstände der einzelnen Windungsumgänge aus, und durchlaufen diese Abstände bei einer Stützendicke von 5 mm und einem Stengeldurchmesser von 1,5 mm die Werthe von 0; 5; 10; 20; 40; 60; 80 mm, so durchwandern in runden Zahlen ausgedrückt die dazu gehörigen Längendifferenzen die Werthe von 9,5; 9; 8; 6; 4; 3; 2,5 mm mit anderen Worten, mit kleiner werdenden Längendifferenzen zwischen Innen- und Aussenseite muss der Neigungswinkel der Windungen wachsen. In der That konnte ich diese theoretischen Consequenzen in der Wirklichkeit vollkommen bestätigt finden, was nachstehende Tabellen in verschiedener Weise darlegen sollen.

Durchmesser der Stütze.	Neigungswinkel.	Windungsabstand.	Mittel aus Windungen.
0,5 mm . .	75°	6— 7 mm	5
2,5 - . .	—	14—15 -	11
4 - . .	69—70°	19—20 -	16
5 - . .	67°	24—26 -	6
12 - . .	64°	— -	—
13 - . .	61°	— -	—
17,5 - . .	56°	92—96 -	5
21 - . .	32°	80—85 -	5

Ein gesundes Exemplar von Calystegia hatte um eine konische,

von 3,1 mm bis zu 6 mm Durchmesser sich verjüngende Stütze gewunden und zeigte folgende Neigungswinkel:

Durchmesser der Stütze.	Neigung der Windungen.
29 mm	36°
28 -	39°
22 -	43°
17 -	48°
16 -	48°
12,5 -	50—51°
7 -	53°
6 -	59°

Um 1 mm dicke Drähte und dünne Seidenfäden gebildete Windungen derselben Pflanze waren um 80° gegen die Horizontale geneigt.

Ein Exemplar von Menispermum canadense zeigte folgende Verhältnisse an einer konischen Stütze von 31—11 mm Durchmesser.

Stützendurchmesser.	Neigungswinkel.	Internodienlänge.
31 mm	45°	70
26 -	58°	78
23,5 -	62°	76
21 -	63°	80
17 -	68°	80
14 -	70°	95
11 -	74°	110

Dagegen hielten die Windungen eines anderen Stengels derselben Pflanze um eine 22 mm dicke Stütze einen Neigungswinkel von 63—64°, die eines dritten Stengels um eine Stütze von 27—29 mm Durchmesser einen Neigungswinkel von 55° constant inne. Schwendener giebt für Ipomaea für eine 6 mm dicke Stütze eine Neigung von 76°, für 1,5 cm Stützendurchmesser 58° Neigung.

An Humulus Lupulus fand ich folgende Werthe als zusammengehörig:

Stützendicke.	Neigungswinkel, Mittel aus je 6 Messungen.
5 mm	70°
7 -	65°
12 -	63°
20 -	63°
35 -	60°
38 -	62°
45 -	60°
46 -	56°
51 -	54°
55 -	50°
58 -	53°
62 -	50°
70 -	47°
76 -	43°
80 -	45°

Ein nachträgliches Steilerwerden der fertigen Windungen, wie es de Vries als wahrscheinlich hinstellt, habe ich, wie es schon Schwendener erging, nicht beobachten können. Die Windungen blieben in allen Fällen unverändert, was man am leichtesten daran erkennen kann, dass die einzelnen die Windungen treffenden Theile einer parallel zur Stützenachse gezogenen Linie sich nicht nachträglich verschieben, sondern genau in der geraden Linie angeordnet bleiben.

Nach dem oben Gesagten stimmen die schlingenden Stengel mit den Ranken darin überein, dass dauernder Contakt bei Beiden eine relative Wachsthumsverlangsamung an der berührten Seite bewirkt, die zur Umschlingung der Stütze führt; bei Beiden ist eine Reizfortpflanzung aus der continuirlich concaven Einkrümmung der zunächst über der Berührungsstelle liegenden Partie unmittelbar ersichtlich. Wird die Stütze rechtzeitig beseitigt, so vermögen Beide leichte Krümmungen und selbst ganze Windungen, unter Mitwirknng des Geotropismus bei den Schlingpflanzen und Bildung von Torsionen, wieder auszugleichen. Im Allgemeinen reagiren die Stengel der Schlingpflanzen viel langsamer und träger als die Mehrzahl der Ranken und kommen vielleicht nur den wenigst empfindlichen unter

den Ranken, wie denen von Ampelopsis, Smilax etc. gleich. Während bei den Ranken die Concavseite nach der Berührung entweder nur im Wachsthum zurückbleibt oder gar nicht mehr wächst, oder sogar sich verkürzen kann, wie de Vries[1]) 1873 nachwies, kommt bei den Schlingpflanzen nach meinen bisherigen Messungen, die alle anzuführen ich hier unterlasse, nur der erste Fall vor; immer vergrösserten sich auch die Distanzen der auf der Concavseite angebrachten Marken. Trotzdem wird die Längendifferenz zwischen Concav- und Convexseite eine sehr beträchtliche. Sie betrug nach direkter Vergleichung der durch sorgfältige Schnitte abgelösten Innen- und Aussenseite z. B. bei

Stützendicke in mm	Stengeldicke in mm.	Länge der Aussenseite	Innenseite in mm.
	Calystegia dahurica.		
3,5	1,5	42	36
5	1,5	65	60
5	2,5	90	77
10	3	59,5	52,5
10	3	102	93,5
	Menispermum canadense.		
13	3	83	80
-	-	97	93
-	-	88	84,5
-	-	70	67
-	-	71,5	68
22,5	2	62	56
-	-	47	41
-	-	45,5	42

Nicht nur verschiedene Arten der Schlingpflanzen, sondern auch Individuen derselben Art reagiren ungleich stark auf den Druck der Stütze, d. h. die besprochene bleibende Längendifferenz ist bei verschiedenen Individuen auch unter sonst gleichen Verhältnissen, bei gleicher Stengel- und Stützendicke, nicht gleich; eine unmittelbare Folge davon ist, dass die Neigung der Windungen verschiedener

1) de Vries. Längenwachsthum der Ober- und Unterseite sich krümmender Ranken. Arbeiten des bot.-Inst. in Würzburg. Bd. I pag. 314 ff.

Arten, respektive Individuen derselben Art ceteris paribus variiren kann. So betragen z. B. die Neigungswinkel von

bei der Stützendicke von	Calystegia dah.	Menisp. canad.
13 mm	61°	68°
22 -	43°	65°
32 -	35°	59—60°

Menispermum canadense ist eine verhältnissmässig steil windende Pflanze, Calystegia dahurica und Ipomaea sibirica dagegen winden weniger steil. Innerhalb einer und derselben Art pflegen lebhaft wachsende Individuen in grösserem Winkel gegen die Horizontale geneigt zu sein, als langsam wachsende. Indem man die Wachsthumsenergie eines Sprosses künstlich herabsetzt durch Entfernung der Blätter und verminderte Wasserzufuhr, kann man denselben veranlassen, Windungen von geringerer Neigung gegen die Horizontale zu produziren, als ihm im normalen Zustande zukommen. Zum Theil kommt dieses Flacherwerden der Windungen natürlich in diesem Falle auf Rechnung des Geotropismus, der ja bei weniger lebhaft wachsenden Organen an Wirksamkeit verliert.

Torsionen.

Eine mit dem bisher Gesagten in vielfacher Wechselbeziehung stehende Erscheinung an windenden Stengeln sind die Torsionen derselben. Die Annahme Mohl's, die Torsion in den älteren Internodien sei Ursache des Windens, wurde, wie wir schon im historischen Theil dieser Abhandlung sahen, von Palm nicht getheilt. Schon die Pflanzen, deren gewundener Theil eine der Windungsrichtung entgegengesetzte Torsion erhält, mussten die Mohl'sche Ansicht stürzen. Die Torsionen treten vielmehr erst später auf, wenn der Stengel, fand er eine Stütze, sich bereits um diese gewunden hat, oder wenn er ohne Stütze die Nutationsbewegung bereits vollendet hat. Den jungen Internodien fehlen sie stets. Sowohl während des Längenwachsthums, häufig, wenn dasselbe dem Erlöschen nahe ist, bilden sich Torsionen aus, die, wie schon aus Mohl's Angaben zu ersehen ist, in Bezug auf Zahl und Steilheit

specifisch und individuell verschieden sind. Es ist nothwendig, um klar über die Torsionserscheinungen zu werden, von vornherein zwei Fälle von einander zu trennen, namentlich die sogenannte scheinbare Torsion, welche eine Torsion überhaupt gar nicht genannt werden dürfte, da sie nichts mit einer solchen gemein hat, als die äussere Erscheinung, von der wirklichen. Die scheinbare Torsion ist stets der Windungsrichtung gegenläufig, antidrom, und kommt aus rein stereometrischen Gründen zu Stande; nach ihr scheint ein und dieselbe Seitenlinie, die parallel der Achse des Stengels läuft, durch das Winden einen scheinbaren spiraligen Verlauf zu erhalten, d. h. sie scheint von aussen über oben nach innen zu rücken, um endlich wieder nach aussen zurückzukehren. Sehen wir aber genauer zu, so bemerken wir bald, dass, trotzdem die Seitenlinien nach der Achse parallel laufen, was bei einer wirklichen Torsion nicht ist; diese scheinbare Torsion müssen wir berücksichtigen, eben weil sie nur scheinbar ist, weil sie, wollte man sie vernachlässigen, die Beurtheilung der gleich zu nennenden wirklichen Torsion fälschen würde. Fig. 9a stellt die scheinbare Torsion eines Stengels dar. Wie Schwendener trigonometrisch berechnete, beträgt diese scheinbare Torsion für runde Stützen bei einem Neigungswinkel von 45° 254° 26′ pro Windung, d. h. eine ursprünglich aussenliegende Seitenlinie erreicht nach 1,4 Windung wieder die Aussenseite. Mit der Neigung der Windungen zur Horizontalen nimmt ceteris paribus der Betrag der scheinbaren Drehung zu und ab, so zwar, dass die Torsionen um so stärker zu werden scheinen, je steiler die Windungen sind. Für eine zehnkantige, also annähernd runde Stütze berechnete Schwendener für verschiedene Neigungswinkel z. B. folgende Werthe der scheinbaren Torsion:

Neigung der Windungen.	Scheinbare Torsion der Windung.
45°	258° 40′
55° 32′	300°
65°	328° 20′
75°	348° 20′
85°	358° 40′

u. s. f.

und seine Beobachtungen zeigen, wie wenig die wirklichen Werthe hinter den berechneten zurückbleiben.

Aus dem Gesagten folgt direkt, dass ein nicht tordirt erscheinender Stengel, bei dem also eine aussenliegende Kante oder Seitenlinie immer auf der Aussenseite weiter verläuft, in Wirklichkeit homodrom tordirt sein muss und zwar so viel, dass die nothwendige scheinbare Torsion ausgeglichen wird. Man kann sich diese Thatsache am einfachsten mit Hülfe eines biegsamen Internodiums oder eines Gasrohres veranschaulichen, auf das man parallel der Längsachse eine Seitenlinie markirt. Soll diese beim Winden um eine Stütze immer aussen bleiben, so ist es nothwendig, dass man das Internodium mit der Hand fortwährend in der Windungsrichtung tordirt. Als „nicht gedreht" ist demnach nicht ein gewundener Stengel zu bezeichnen, bei dem durchgehends die nemliche Kante auf der Aussenseite der Windungen verläuft, wie Schwendener (l. c. pag. 1102) will, sondern ein Stengel, der nur die scheinbare antidrome Torsion zeigt. Das ist der Nullpunkt, von dem man bei Bezeichnung der wirklichen Torsion eines Stengels ausgehen muss. Die wirkliche Torsion kann zwei verschiedene Formen annehmen und auf mehrfache Art entstehen; sie ist entweder homodrom oder antidrom, je nachdem ihre Richtung mit der Windungsrichtung zusammenfällt oder ihr entgegenläuft. Die homodrome Torsion (Fig. 9b) entsteht theils aus inneren Wachsthumsursachen dadurch, dass die peripherischen Theile des Stengels mehr wachsen, als die centralen, theils ist sie das Resultat der streckenden Wirkung des negativen Geotropismus der windenden Stengel; denn schon dadurch, dass der eine Spirale bildende und torsionslose Stengel durch den Geotropismus bei durch die Nutation verhinderter Rückwärtsbewegung (diese Bedingung ist nicht zu übersehen) der Spitze gestreckt wird, erhält derselbe homodrome Torsionen, zu welchen sich die erstgenannte hinzugesellt. Die antidrome Torsion (Fig. 9c) entsteht nur durch äussere Einflüsse, durch den Widerstand der Stütze u. s. w., was daraus hervorgeht, dass man sie auch an dünnen Stützen, an denen sonst nur homodrome Torsionen auftreten würden, durch Erhöhung des Reibungswiderstandes z. B. durch Rauhmachung der Stütze vermittelst eines umgewundenen Fadens etc. hervorrufen kann. In analoger Weise erfolgt sie oft, wenn ein Blatt durch Zufall zwischen

Stütze und windenden Stengel geräth: man sieht dann die homodrome Torsion sich so lange in eine antidrome verwandeln, als durch die Blattlamina die Reibung erhöht wird. Ueberschreitet der Durchmesser ein bestimmtes Maass, so erhält der Stengel nur antidrome Torsion. Recht deutlich lässt sich die Beziehung zwischen Torsion und Stützendicke veranschaulichen, wenn man eine Pflanze veranlasst, eine schon weiter vorn beschriebene konische Stütze zu umwinden. Die am unteren dünnen Ende sich bildenden gleichsinnigen Torsionen gehen, den oben genannten Nullpunkt passirend, in immer stärkere antidrome Torsionen über, bis die Pflanze überhaupt nicht mehr die Stütze zu umwinden vermag. An einer solchen konischen Stütze setzte bei Calystegia dahurica die am unteren dicken Ende befindliche antidrome Torsion bei einer Dicke von 15—17 mm in die homodrome Torsion um. Den Hopfen sah ich nur an Stützen unter 10 mm ohne Torsion oder mit schwacher homodromer Drehung, an allen dickeren Stützen waren die Internodien stark antidrom tordirt. Noch weniger Neigung, ohne Stütze zu tordiren, als der Hopfen, zeigen die Stengel von Menispermum canadense. An ihm ist bei dünnen Stützen sowohl, als bei solchen von 35 mm und mehr immer nur die scheinbare, antidrome Torsion zu bemerken, welche bei ganz dünnen Stützen durch die vom Geotropismus bewirkte homodrome Torsion etwas abgeschwächt ist. Selbst ganz frei wachsende Internodien sind nur unbedeutend homodrom tordirt. Die Pflanze circumnutirt im Uebrigen ganz regelmässig, ein Beweis, dass die Torsionen nicht direkt von der Nutationsbewegung verursacht werden.

Hiernach ist also die am Ende resultirende Torsion eines windenden Stengels gleichsam die algebraische Summe aus den bezeichneten drei Torsionswerthen; da letztere variabel sind, so hängt die Gesammttorsion jedesmal ab von den vorliegenden Dimensionen des Stengels- und Stützendurchmessers, vom pflanzlichen Individuum und dessen Befinden ab. Unter geeigneten Umständen, nemlich bei dünnen Stützen, entsteht eine starke homodrome Torsion als Endresultat. Die scheinbare antidrome Torsion wird theils durch die in Folge der hier sehr ausgiebigen Wirkung des Geotropismus erzeugten, theils durch die aus inneren Wachsthumsursachen erfolgenden homodromen Torsionen nicht nur ausgeglichen, sondern ersetzt;

bei sehr dünnen Stützen, Fäden etc. ist daher die Grösse der homodromen Torsion oft sehr bedeutend und kommt der ganz frei wachsender Internodien sehr nahe. Die Sätze Schwendener's: „jede Schlingpflanze, die regelmässig windet, erscheint daher in den älteren ausgewachsenen Internodien stets gegenläufig gedreht", und weiter „jene der Windungsrichtung gleichsinnigen Drehungen finden nur statt, wenn die Pflanze an der Stütze ausgleitet oder über dieselbe hinauswächst oder aus irgend welchen anderen Gründen an der regelmässigen Herstellung des Contaktes verhindert wird; sie fallen in die Zeit des Nichtwindens und müssen folglich als Störungen bezeichnet werden, die bei regelmässigem Winden gar nicht vorkommen", sind daher vollkommen unhaltbar und beruhen auf der durch die Wahl zu dicker Stützen bedingten Unvollständigkeit seiner Beobachtungen.

Die Besprechung der Torsionen veranlasst mich, noch auf einen Punkt zu kommen, in dem ich mit Schwendener nicht übereinstimme. Wie Schwendener bereits anführt, kann die Krümmung der windenden Stengel beim Anlegen an die Stütze auf doppelte Weise zu Stande kommen, erstens, dass die jedesmaligen Biegungen um quergestellte, also zur Längsachse des Stengels senkrechte, oder zweitens, dass sie um zur Längsausdehnung des Stengels schiefe Achsen stattfinden. In jenem Falle erscheint eine auf den Stengel gemalte, den Kanten parallele Linie nach dem Winden antidrom tordirt (scheinbar antidrome Torsion) und die nach einander am stärksten wachsenden Regionen liegen auf einer homodromen Spirale um den Stengel. Im zweiten Falle behält eine solche Linie stets ihre relative Lage zur Stütze bei, die Wachsthumsmaxima liegen immer auf derselben Seite des Stengels. Welchem Falle ist nun die windende Pflanze unterzuordnen? Unbedingt dem ersten, denn mit dem zweiten, der bei vielen Ranken (Bryonia etc.) vorkommt, ist das spiralig um den Stengel fortschreitende Wachsthum schlechterdings nicht zu vereinigen. Diese Art des Wachsthums ist aber Bedingung der Circumnutation der Schlingpflanzen und kann durch am Stengel angebrachte Marken leicht nachgewiesen und veranschaulicht werden. Schwendener nimmt merkwürdigerweise den zweiten Fall für den windenden Stengel in Anspruch.

Schon oben brachte ich zum Ausdruck, dass an der ursprüng-

lichen Bildung der Windungen die Torsionen keinen Antheil nehmen; als einzige, aber nebensächliche Wirkung derselben auf den Windungsmechanismus fasse ich die auf, dass sie einen verzögernden oder beschleunigenden Einfluss auf die Geschwindigkeit des Windens ausüben, je nachdem die Torsionen der Windungsrichtung entgegengesetzt oder gleichsinnig verlaufen. In derselben Weise kommt auf das durch das Gewicht der freistehenden Sprossspitze auf die sie tragenden Internodien ausgeübte Torsionsmoment zur Geltung. Die von Schwendener ausgeführten Versuche, nachzuweisen, dass das Drehungsmoment des freien Sprossgipfels nicht zu den wesentlichen Bedingungen des Windens gehöre, habe ich mehrfach wiederholt und befinde mich in Bezug auf das Resultat in vollständiger Uebereinstimmung mit ihm.

Freie Windungen.

Schlingende Sprosse können auch ohne Stütze ähnliche schraubenförmige Krümmungen machen, wie wenn sie eine Stütze umwinden. Dies geschieht jedoch nur, wenn man das Stengelende der Schlingpflanze in vertikale Richtung bringt und darin zu erhalten sucht; dann kann man eine grössere Anzahl von Spiralwindungen entstehen sehen (die Figuren 7 und 8 der Tafel stellen solche freie Windungen dar, 7 von Ipomaea coccinea und 8 von Calystegia dahurica), man wird aber auch bemerken, dass die betreffende Pflanze in kurzer Zeit ihr normales Wachsthum einstellt, dass ihre Blätter klein bleiben, dass sie, kurz gesagt, nur noch kümmerlich ihr Dasein fristet. Deshalb, weil der Zustand der Pflanze hier anomal ist und weil eine sich selbst überlassene, kräftig wachsende, flott nutirende Pflanze solche freie Windungen nicht bildet, halte ich letztere für etwas vollständig Verschiedenes von den um eine Stütze erzeugten Windungen. Dasselbe gilt für die von abgeschnittenen und in feuchten Sand gesteckten Sprossgipfeln gebildeten Windungen. Alle diese Erscheinungen sind rein pathologische, die mit dem Winden gesunder Sprosse um eine Stütze in keiner Beziehung stehen. Aufschlüsse über den Vorgang des Windens sind meines Erachtens von solchen Versuchen nicht zu erwarten. Wächst der Gipfel einer gesunden Schling-

pflanze über die Stütze hinaus, so neigt sich derselbe in Folge seines Gewichtes bald über bis in die Horizontale und darüber hinaus. Dieser überhängende Stengeltheil (der oft mehrere Fuss lang werden kann, z. B. bei Humulus Lupulus und Phaseolus multiflorus), wird durch die Nutationsbewegung in horizontaler Ebene im Kreise herumgeführt, zugleich aber wird der ganze Sprossgipfel durch die Torsion des weiter zurückliegenden Stengeltheiles in passive Drehung um sich selbst versetzt, er macht eine sogenannte Klinostatenbewegung. Letztere vernichtet die Wirkungen des negativen Geotropismus, ohne welchen, wie früher erörtert wurde, die Bildung von Windungen unmöglich wird. Würden in der Natur frei wachsende Sprosse leicht derartige korkzieherförmige Windungen bilden, so wären sie für immer verhindert, eine Stütze zu erfassen, die Schlingpflanze müsste aufhören, Schlingpflanze zu sein. Die Entstehung aller Spiralwindungen ohne Stütze denke ich mir genau in der Weise, wie Sachs in seinen „Vorlesungen“ (pag. 823) für schwächlich wachsende Sprosse angiebt. Es ist, wie mir scheint, kein Grund vorhanden, die an abgeschnittenen Stengeln im Glascylinder oder die beim Wachsen der Pflanze über die Stütze hinaus gebildeten Windungen zu unterscheiden von denen, die an ganz frei in vertikaler Richtung gehaltenen schwächlichen Sprossen immer zu beobachten sind. In allen diesen Fällen hören die regelmässigen Nutationsbewegungen auf, die Schwerkraft verliert, weil das Wachsthum der betreffenden Pflanzentheile dem Erlöschen nahe ist, ihre Wirksamkeit, und was entsteht, ist einzig und allein hervorgebracht durch lokale Wachsthumsdifferenzen und damit zusammenhängende Longitudinalspannungen im Stengel. Wie ich in der Einleitung schon bemerkte, ist dies auch die Meinung Schwendeners, dem ich vollständig darin beistimme, die „freien Windungen“ der Schlingpflanzen analog den freien Spiralwindungen der Ranken, der Stiele der weiblichen Blüthen von Vallisneria spiralis, der Fruchtschnäbel von Erodium etc. zu setzen.

Figuren-Erklärung.

Tafel XVI.

Fig. 1. Calystegia dahurica. Stengel st um einen lose herabhängenden Seidenfaden s gewunden. nat. Gr.

Fig. 2. Calystegia dahurica. Stengel während des regelrechten Windens um einen feinen Eisendraht dd. nat. Gr.

Fig. 3. Dieselbe Pflanze, um ein Glasrohr von 15 mm Dicke windend. nat. Gr.

Fig. 4. Dieselbe Pflanze, windend um eine Stütze von 00 mm Durchmesser. nat. Gr.

Fig. 5. Humulus Lupulus. Gipfel eines Sprosses, der mehr als zwölf regelmässige Windungen um einen Eisendraht gemacht hatte. nat. Gr.

Fig. 6. Convolvulus arvensis. Stengel, welcher ein Grasblatt b umwunden hat; etwas vergrössert.

Fig. 7. Ipomaea coccinea.
Freie Windung. st Stengel. s Drahtschlinge, um die Pflanzen vertikal zu erhalten. nat. Gr.

Fig. 8. Calystegia dahurica. Freie Windung. schwach verkleinert.

Fig. 9. a) Darstellung der scheinbaren Torsion.
b) „ „ homodromen „
c) „ „ antidromen „

Druck von G. Bernstein in Berlin.

F. G. Kohl ad nat. del. C. Laue lith.